

ARBEITSPAPIERE

WORKING PAPERS

NR. 15, JULI 2012

Automatische Grundstücksumlegung mithilfe
von Unterteilungsalgorithmen und typenba-
sierte Generierung von Stadtstrukturen

KATJA KNECHT, REINHARD KÖNIG

ISSN 2191-2416



Katja Knecht, Reinhard König

Automatische Grundstücksumlegung mithilfe von Unterteilungsalgorithmen und typenbasierte Generierung von Stadtstrukturen

Weimar 2012

Arbeitspapiere (Working Papers) Informatik in der Architektur, Nr. 15

Herausgegeben von Prof. Dr. Dirk Donath und Dr. Reinhard König

ISSN 2191-2416

Bauhaus-Universität Weimar, Professur Informatik in der Architektur

Belvederer Allee 1, 99425 Weimar

<http://infar.architektur.uni-weimar.de>

Titelbild: Jugendstil-Wendeltreppe im Hauptgebäude © Bauhaus-Universität Weimar

Redaktionelle Anmerkung:

M.Sc., Dipl. Ing. (FH) Katja Knecht ist wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Professur Informatik in der Architektur an der Bauhaus-Universität Weimar. Dr. Reinhard König ist Vertretungsprofessor der Professur Informatik in der Architektur an der Bauhaus-Universität Weimar.

Der Text ist im Rahmen des von der DFG geförderten Forschungsprojekts „CoMStaR: Computerbasierte Methoden für eine sozial nachhaltige Stadt- und Raumplanung“ entstanden.

<http://infar.architektur.uni-weimar.de/service/drupal-cms/comstar>

Automatische Grundstücksumlegung mithilfe von Unterteilungsalgorithmen und typenbasierte Generierung von Stadtstrukturen

Katja Knecht, Reinhard König

katja.knecht@uni-weimar.de, reinhard.könig@uni-weimar.de

Professur Informatik in der Architektur

Fakultät Architektur, Bauhaus-Universität Weimar, Belvederer Allee 1, 99421 Weimar, Germany

Abstract

Dieses Arbeitspapier beschreibt, wie ausgehend von einem vorhandenen Straßennetzwerk Bebauungsareale mithilfe von Unterteilungsalgorithmen automatisch umgelegt, d.h. in Grundstücke unterteilt, und anschließend auf Basis verschiedener städtebaulicher Typen bebaut werden können. Die Unterteilung von Bebauungsarealen und die Generierung von Bebauungsstrukturen unterliegen dabei bestimmten stadtplanerischen Einschränkungen, Vorgaben und Parametern. Ziel ist es aus den dargestellten Untersuchungen heraus ein Vorschlagssystem für stadtplanerische Entwürfe zu entwickeln, das anhand der Umsetzung eines ersten Softwareprototyps zur Generierung von Stadtstrukturen weiter diskutiert wird.

Keywords: Automatisierung, Grundstücksumlegung, Generierung, städtische Strukturen, Unterteilungsalgorithmen, Computational Design.

1. Einleitung

Die in diesem Arbeitspapier beschriebene Untersuchung ist im Rahmen des Forschungsprojektes CoMStaR¹ entstanden. Das Projekt verfolgt die Zielstellung, neuartige Planungskonzepte und städtebauliche Strukturen unter räumlich und sozial nachhaltigen Gesichtspunkten zu entwickeln. In den im Rahmen von CoMStaR bereits veröffentlichten Arbeiten von Steinhöfel, Anders et al. (2010) und Anders and König (2011), die uns als Grundlage dienten, wurde eine erste generative Software für graphenbasierte Straßennetzwerken entwickelt, die als Basis für ein Vorschlagssystem für nachhaltige stadtplanerische Entwürfe dient.

Die im Folgenden vorgestellte Arbeit erweitert mit der Erstellung von Grundstücksflächen und ihrer Bebauung nach stadtplanerischen Kriterien die genannten Vorarbeiten inhaltlich um die Ebene des städtebaulichen Entwurfs. Im Rahmen dieses Arbeitspapiers wird beschrieben, wie ausgehend von einem vorliegenden Straßennetzwerk Bebauungsareale automatisch umgelegt, d.h. in Grundstücke unterteilt, und anschließend auf Basis von verschiedenen städtebaulichen Bebauungstypen bebaut werden können. Unsere Untersuchung beschränkt sich dabei zunächst auf die Generierung von zweidimensionalen Stadtstrukturen.

Die Grundstücksumlegung wird mithilfe von Unterteilungsalgorithmen umgesetzt, welche die im architektonischen Entwurf häufig eingesetzte Methode des Unterteilens imitieren. In Kapitel 3 wird die Unterteilungsstruktur näher beleuchtet und aufgezeigt, welchen städtebaulichen Einschränkungen und Parametern sie unterliegt. Die Bebauung der Grundstücke orientiert sich an gängigen städtebaulichen Typen und unterliegt ebenfalls gewissen allgemeinen Bedingungen und Parametern. Kapitel 4 stellt verschiedene Bebauungsweisen und Bautypen sowie ihre algorithmische Umsetzung mittels verschiedener Parameter und Einschränkungen dar. Aus diesen Betrachtungen heraus entstand eine generative Software, die Vorschläge für Stadtentwicklung und Bebauung erzeugt. Beispielhafte Ergebnisse werden in Kapitel 5 diskutiert. Kapitel 6 zeigt abschließend mögliche nächste Schritte und weitere Untersuchungsgebiete auf.

2. Stand der Forschung

Unsere Untersuchungen lassen sich in die Forschungsgebiete der urbanen Simulationen und urbanen Modellierungen einordnen. Bisherige Arbeiten auf diesen Gebieten fanden nicht nur im Bereich der Architektur und Stadtplanung, sondern in unterschiedlichen Anwen-

¹ Weitere Informationen zum Forschungsprojekt sind erhältlich unter: <http://infar.architektur.uni-weimar.de/service/drupal-cms/comstar>

dungsbereichen statt und verfolgten folglich verschiedene Zielstellungen: Insbesondere im Computerspielebereich wurde die Weiterentwicklung und Anwendung urbaner Simulationen und Modellen verstärkt betrieben. Praktische Anwendungen reichen hier von Simulationen wie SimCity bis hin zur Modellierung von dynamischen Spielumgebungen, beispielsweise in Multiplayer Online Games wie World of Warcraft. Hier stand weniger die städtebauliche Korrektheit und architektonische Umsetzbarkeit im Vordergrund, als das Schaffen von grafisch ansprechenden und visuell abwechslungsreichen Spielwelten. Eine ähnliche Zielstellung verfolgt die Entwicklung urbaner Modelle im Film- und Animationsbereich mit der Erstellung von animierten, realistischen oder utopischen Stadtlandschaften in Filmen wie Spiderman's New York City oder Batman's Gotham City.

Der naheliegende Einsatz urbaner Simulationen und Modellierung in architektonischen und stadtplanerischen Prozessen, wie beispielsweise Simulationen zur Stadtentwicklung oder die generative Modellierung neuer Stadtstrukturen, wurde in den vergangenen Jahren in verschiedenen Projekten wie UrbanSim² (Waddell, Borning et al. 2003) und CityEngine (Parish, Mueller et al. 2001; Chen, Esch et al. 2008; Weber, Mueller et al. 2009) untersucht und weiterentwickelt.

Im Fokus von UrbanSim steht die Analyse und Planung von städtebaulichen, kommunalen und regionalen Entwicklungsprozessen. Es wird von Städten, Kommunen und Forschungsinstitutionen eingesetzt. Besonders erwähnenswert ist, dass hier bei der Simulation urbaner Strukturen die Interaktionen zwischen Nutzung, Verkehr, Wirtschaftsstruktur und Umwelteinflüssen mitbetrachtet werden. Das System CityEngine³ erlaubt die Planung und die dreidimensionale, regelbasierte Modellierung von Städten und Stadtstrukturen bis hin zu Gebäudedetails. Dies ermöglicht die Verwendung der Software im Planungsbereich ebenso wie für Stadtsimulationen im bereits erwähnten Unterhaltungsbereichen.

Im Rahmen des bereits erwähnten CoMStaR-Projekts werden generierte Stadtstrukturen hinsichtlich ihrer Auswirkung auf die soziale Struktur und die Wohnstandortpräferenzen der Bevölkerung der gesamten Stadt untersucht. Basierend auf einem Verfahren zur Erstellung von Wohnpräferenzkarten soll abgeschätzt werden, mit welcher Wahrscheinlichkeit welche Bevölkerungsgruppen (Milieus) in ein neu geplantes Stadtgebiet ziehen werden und wie sich das neue Stadtgebiet auf die umliegenden Gebiete auswirken könnte. Die Modellierung urbaner Strukturen besteht nach Weber, Mueller et al. (2009) aus einer Abfolge meh-

² Nähere Informationen, kostenloser Download und Dokumentationen zu UrbanSim sind unter der folgenden URL abrufbar: <http://www.urbansim.org/>

³ CityEngine ist ein kommerzielles Produkt von Esri. Eine Testversion und Demos sind unter der folgenden URL verfügbar: <http://www.esri.com/software/cityengine/index.html>

rerer Prozesse: Der Erstellung eines Straßennetzwerks, der Festlegung der Flächennutzungen, der Grundstückserstellung und -bebauung (Abb. 1). Mögliche graphenbasierte Generierungsverfahren für Straßennetzwerke wurden beispielsweise im Rahmen des CoMStaR-Projektes von Anders and König (2011) beschrieben. Weitere Möglichkeiten zur Erstellung von Straßennetzwerken bieten beispielsweise L-Systeme (Parish, Mueller et al. 2001; Chen, Esch et al. 2008) oder Tensorfelder (Chen, Esch et al. 2008). Unsere Betrachtungen, die im Rahmen dieses Arbeitspapiers dargelegt werden, beschränken sich auf den Bereich der Grundstückserstellung und -bebauung und greifen auf einen bereits vorhandenen Straßennetzwerkgraphen zurück.

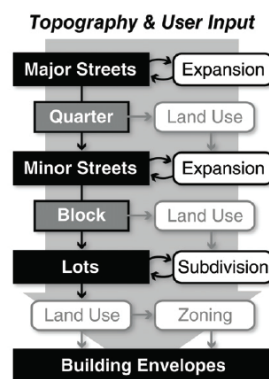


Abb. 1: Abfolge von Prozessen bei der Erstellung von städtebaulichen Layouts; entnommen aus (Weber, Mueller et al. 2009).

3. Automatisierte Grundstücksumlegung durch parameter- und constraintbasierte Unterteilungsalgorithmen

Mithilfe von Unterteilungsalgorithmen lassen sich Quartiere, die durch ein Straßennetzwerk vorgegeben werden, relativ einfach und schnell in Grundstücke umlegen. Sie imitieren und automatisieren die im Architekturentwurf häufig eingesetzte Methodik des Unterteilens gegebener Flächen. Bei der Umlegung von Grundstücken sind insbesondere städtebauliche Bedingungen (Constraints) und Parameter zu berücksichtigen. Die Gestaltung des Algorithmus sowie die betrachteten Bedingungen und Parameter werden in der Folge beschrieben.

3.1. Unterteilungsalgorithmen

Unterteilungsalgorithmen werden in der Regel in der Computergrafik oder -geometrie eingesetzt, um Flächen, Punkt- oder Datenmengen nach vorgegebenen Regeln zu unterteilen und gleichzeitig in der entstehenden baumartigen Datenstruktur zu organisieren. Der Einsatz von Unterteilungsalgorithmen ist jedoch auch in Grundstücksumlegung und der Gene-

rierung urbaner Strukturen weit verbreitet (Parish, Mueller et al. 2001; Vanegas, Aliaga et al. 2009; Weber, Mueller et al. 2009).

Als Grundlage vorliegender Arbeit diene die bei Knecht und Koenig (2011) beschriebene Untersuchung zur Generierung von Grundriss-Layouts mithilfe von Unterteilungsalgorithmen. Bei dieser wurde ein Unterteilungsalgorithmus unter Berücksichtigung besonderer Vorgaben und unter Einbezug bestimmter Parameter eingesetzt, der in ähnlicher und vereinfachter Form auch in der automatisierten Grundstücksumlegung zum Einsatz kommt. Die Algorithmen unterscheiden sich jedoch in ihrer Ausgestaltung.

Ausgangspunkt für den zur Grundstücksumlegung eingesetzten Unterteilungsalgorithmus ist ein bestehendes Straßennetz. Zunächst werden die durch das Netzwerk beschriebenen Polygonflächen extrahiert und diese anschließend rekursiv in Unterflächen unterteilt bis ein vorher festgelegtes Abbruchkriterium erreicht wird, z.B. die Unterteilungsflächen einen festgelegten Maximalwert unterschreiten. Die Unterteilung der Fläche wird in Form eines Unterteilungsbaums, oder englisch *Slicing Tree* gespeichert, welcher die Abhängigkeiten zwischen den Flächen, Unterteilungen und Blättern enthält. Eine allgemeine Beschreibung des Algorithmus zeigt Tab. 1.

Die Unterteilungen werden dabei in horizontaler oder vertikaler Richtung geführt. Die Auswahl der Unterteilungsrichtung erfolgt unter Berücksichtigung städtebaulicher Constraints und Parameter, die im folgenden Kapitel näher beleuchtet werden.

Algorithmus:	Unterteilung einer Polygonfläche und Aufbau eines Unterteilungsbaums
Input:	Polygon P
Output:	Unterteilungslayout, \mathcal{T} vom Typ Slicing Tree
Logik:	<ol style="list-style-type: none"> 1. If P ist leer return leeres Slicing Tree 2. Bestimme und generiere die Schnittebene s sowie den Unterteilungsknoten N mit den folgenden Werten: <ol style="list-style-type: none"> a. SplitDim = die Schnittdimension b. SplitVal = der nach der Schnittabfolge bzw. Schnittverhältnis berechnete Schnittlinienwert in SplitDim 3. Bestimme die rechten und linken Unterflächen Pleft und Pright: <ol style="list-style-type: none"> a. Pleft = Teilfläche von P links oder oberhalb von s, mit Mittelpunktsvektor $v[\text{SplitDim}] \leq \text{SplitVal}$ b. Pright = Teilfläche von P rechts oder unterhalb von s, mit Mittelpunktsvektor $v[\text{SplitDim}] > \text{SplitVal}$

	<ol style="list-style-type: none"> 4. tleft = linker Ast; Unterteile die Fläche ab Schritt 2 weiter rekursiv mit Pleft bis das festgelegte Abbruchkriterium erreicht ist 5. tright = rechter Ast; Unterteile die Fläche ab Schritt 2 weiter rekursiv mit Pright bis das festgelegte Abbruchkriterium erreicht ist 6. return <i>t</i>
--	---

Tab. 1: Schematischer Unterteilungsalgorithmus und Aufbau eines Slicing Trees (Knecht and Koenig 2011).

3.2. Stadtplanerische Constraints

Die Unterteilung von Blöcken innerhalb eines vorgegebenen Straßennetzes in Grundstücke unterliegt städtebaulichen Vorgaben: Zum einen müssen Verkehrsräume berücksichtigt werden, zum anderen müssen die umgelegten Grundstücke gewisse Eigenschaften erfüllen.

3.2.1. Verkehrsräume

Das auf einem Graphen basierende Straßennetz stellt den Straßenverlauf in einem Netz aus Punkten und Linien dar, in denen die Linien die Straßenabschnitte repräsentieren und die Punkte Knoten, wie Straßenkreuzungen oder Knickpunkte darstellen (Abb. 2, links). Bevor die Unterteilung der von Straßen umschlossenen Blöcke erfolgen kann, müssen zunächst die eigentlichen Verkehrsräume des vorgegebenen Straßennetzes erstellt werden. Hierzu werden die von den Straßen umschlossenen Polygonflächen um einen vorgegebenen Abstand von den Netzwerklinien aus eingerückt (Abb. 2, Mitte). Die Fläche zwischen den neuen Raumkanten bildet den Straßenraum (Abb. 2, rechts).

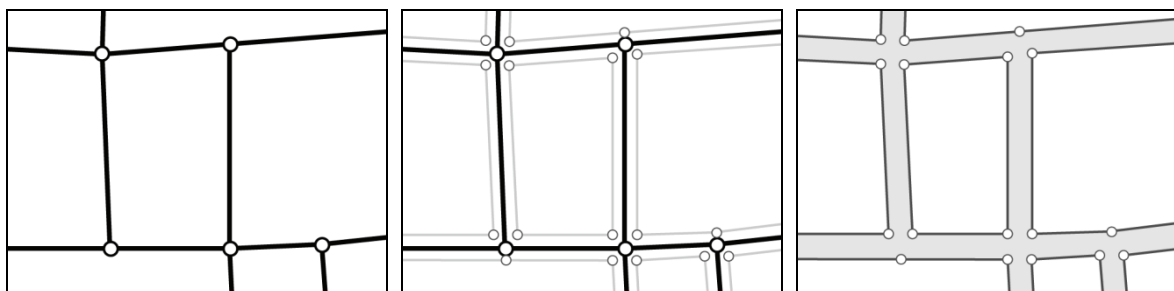


Abb. 2: Erstellung von Straßenräumen (rechts) in einem Straßennetzwerk (links) durch Einrückung (Mitte).

3.2.2. Grundstückseigenschaften

Die eingerückten Polygonflächen stellen die bebaubaren Areale dar. Die Unterteilung der Polygonflächen erfolgt nach dem in Tab. 1 beschriebenen Schema und unterliegt folgenden drei Einschränkungen: Zum einen muss die Erschließung der umgelegten Grundstückflächen garantiert werden, zum anderen sollten die Grundstücke nicht zu langgezogen sein und darüber hinaus eine bestimmte Größe nicht überschreiten.

Um die Erschließung der Grundstücke zu gewährleisten, muss jede der durch Unterteilung entstandenen Flächen mit mindestens einer Grundstücksseite an eine Straße des Straßennetzes angrenzen. Für den Algorithmus bedeutet dies, dass bei der Auswahl der Schnittrichtung die an den Straßenraum grenzenden Kanten der zu unterteilenden Fläche berücksichtigt werden müssen. Besitzt ein zu unterteilendes Areal nur eine straßenseitige Kante, so ist diese ausschlaggebend für die Bestimmung der Schnittrichtung, besitzt es mehrere straßenseitige Kanten, wird die längste ausgewählt.

Wie in Kapitel 3.1. erläutert, wird in horizontaler oder vertikaler Richtung unterteilt und nicht orthogonal zur ausgewählten Kante. Um die Schnittrichtung anhand der Kante zu bestimmen, wird daher ihre Steigung betrachtet. Steigt die Kante stark vertikal, wird die Fläche horizontal unterteilt, verläuft sie eher horizontal, so erfolgt eine vertikale Unterteilung.

Im Hinblick auf die spätere Bebauung ergibt sich darüber hinaus die Vorgabe, dass das Verhältnis von Grundstückslänge zu Grundstücksbreite möglichst ausgewogen bleiben sollte. Lange, schmale Grundstücke behindern in der Regel eine sinnvolle Bebauung bzw. eignen sich nicht für eine Bebauung mit jedem Bautypus. Bei der Unterteilung der Quartiere wird folglich deren Proportion bei der Auswahl der Schnittrichtung berücksichtigt. Die Fläche wird nach der längeren Seite unterteilt, sofern dies nicht die Erschließung beeinträchtigt.

Eine weitere, wichtige und den Unterteilungsalgorithmus einschränkende Grundstückseigenschaft ist die Grundstücksgröße. Die festgelegte Maximalgröße der umgelegten Grundstücke bestimmt, wie oft ein vorgegebener Block unterteilt werden muss. Sie stellt in unserem System das Abbruchkriterium des Unterteilungsalgorithmus dar.

3.3. Parameter

Aus den im vorangegangenen Kapitel beschriebenen städtebaulichen Vorgaben lassen sich Parameter ableiten, durch deren Anpassung die Umlegung der Grundstücke beeinflusst werden kann. Zu diesen Parameterwerten zählen die Größe der Verkehrsflächen, der minimale Abstand zwischen Knotenpunkten und die maximale Grundflächengröße. Die Grundstücksproportion wurde in unseren Untersuchungen als Parameter zunächst außen vor gelassen und lediglich im Rahmen des Unterteilungsalgorithmus bei der Auswahl der Unterteilungsrichtungen (siehe Kapitel 3.2.2.) berücksichtigt.

Verkehrsflächen sind öffentliche Bereiche, die den Ansprüchen verschiedener Nutzergruppen, wie Autofahrer, Radfahrer oder Fußgänger gerecht werden und verschiedene Nutzungen, wie Verkehr, Erholung, Kommunikation und gewerbliche Nutzung, erlauben müssen.

Die Größe des Verkehrsraums wird in der Planung durch die Straßenart und den Platzbedarf ihrer verschiedenen Nutzungen bestimmt (Neufert, Brockhaus et al. 2009). Zur Vereinfachung wird im Rahmen unserer Untersuchungen der Platzbedarf in einem Parameter, dem Offset-Wert, gebündelt. Der Offset-Wert gibt den geometrischen Versatz zwischen Originalpolygon und eingerücktem Polygon an und bestimmt die Breite des Straßenraums ab der Straßenmitte (Abb. 3). Eine Straße besitzt folglich die doppelte Breite des Offset-Werts.

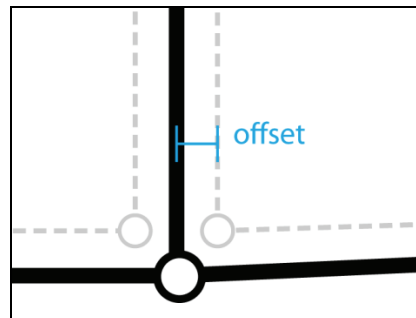


Abb. 3: Der Offset-Parameter.

Für die automatische Grundstücksumlegung ist von Belang, welche maximale Fläche die erstellten Grundstücke jeweils besitzen sollen. Da ein vorgegebenes Polygonareal so lange unterteilt wird, bis die Flächen der resultierenden Unterflächen kleiner als der vorgegebene Wert sind, bestimmt die maximale Grundflächengröße die Tiefe des Unterteilungsbaums. Je kleiner der Parameterwert eingestellt wird, desto höher ist folglich die Anzahl der Unterteilungen pro Block (Abb. 4).

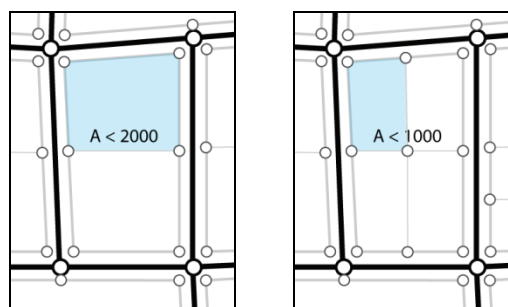


Abb. 4: Unterteilungshäufigkeit in Abhängigkeit von der gewählten maximalen Grundflächengröße.

Bei der Unterteilung der Flächen werden neue Kanten und Knotenpunkte generiert, die die Grenzen zwischen den einzelnen Grundstücken und deren Ecken beschreiben und in den bestehenden Graphen eingefügt werden. Um die Anzahl und Lage der Knoten effizient zu gestalten bzw. zu verteilen, können Knoten, die nahe beieinander liegen, zusammengelegt werden. Bei der Erstellung der Unterteilungen wird folglich der Abstand zu den Nachbarknoten berücksichtigt und falls dieser Abstand einen vorher festgelegten Wert unterschreitet, wird der neue Knoten mit seinem Nachbarknoten zusammengelegt (Abb. 5). Dieser Mindestknotenabstand kann als Parameterwert vom Nutzer definiert werden.

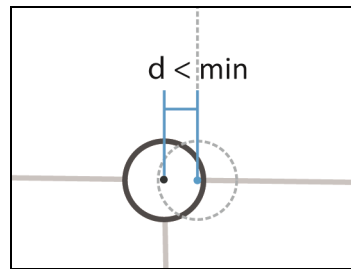


Abb. 5: Mindestabstand zwischen Knotenpunkten.

4. Generierung von typenbasierten Bebauungsvarianten

Im Hinblick auf das Ziel, städtebauliche Strukturen zu generieren, werden auf Basis der umgelegten Grundstücke in einem nächsten Schritt Bebauungsflächen erstellt. Die Bebauung der Grundstücke, d.h. die Lage und Ausformung der Gebäude, erfolgt nach gängigen Bautypen und unterliegt weiteren Parametern und planungsbasierten Einschränkungen, zu denen die Bauweise, die Bebauungsdichte und die Orientierung zählen. Die Bebauung wurde im Rahmen unserer Untersuchung nur Grundflächenbezogen, also zweidimensional betrachtet. Die Anzahl der Geschosse, die Höhe der Gebäude und damit die Wohndichte sowie weitere städtebauliche Parameter waren folglich zunächst nicht Bestandteil unserer Untersuchung.

4.1. Bauweise und Bautypen

Die Bauweise bestimmt die Lage und die Verteilung der Baumassen auf dem Baugrundstück. Allgemein kann man offene oder geschlossene Bebauungsweisen unterscheiden (Neufert, Brockhaus et al. 2009), die mit verschiedenen Bautypen in unterschiedlicher Form umgesetzt sein können (Abb. 6). Die Bauweise hat Einfluss auf die Orientierung und die Erschließung des Gebäudes. Offene Bebauungsweisen erlauben die Orientierung des Gebäudes in alle vier Himmelsrichtungen bzw. in drei Richtungen bei Grenzbebauungen. Geschlossene Bauweisen beschränken die Orientierung der Gebäude auf zwei entgegengesetzte Himmelsrichtungen.

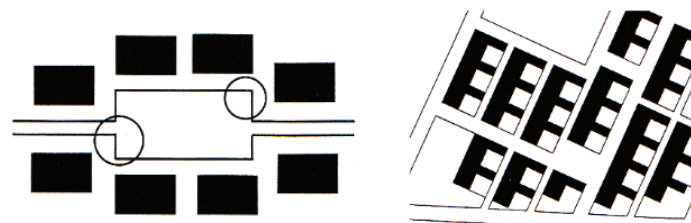


Abb. 6: Beispiele für offene (links) und geschlossene (rechts) Bauweisen; entnommen aus (Neufert, Brockhaus et al. 2009, S. 150).

Die im Rahmen unserer Untersuchungen ein- und umgesetzten Bebauungsvarianten lassen sich in folgende Grundtypen einteilen: Reihe, Block, Zeile und Solitär.

4.1.1. Reihenbebauung

Die Reihe ist eine geschlossene Bebauungsweise. Die Gebäude einer Reihenbebauung liegen entlang der erschließenden Straße und sind in der Regel über mehrere Parzellen hinweg miteinander verbunden (Abb. 7). Sie bilden eine geschlossene Häuserfront, die zur Straße orientiert ist und dadurch einen klaren, definierten und begrenzten Stadtraum bildet (Bürklin, Peterek et al. 2007).



Abb. 7: Reihenbebauung. Nach (Bürklin, Peterek et al. 2007, S. 11).

Bei der Generierung einer Reihe müssen die folgenden Eigenschaften dieses Bautyps berücksichtigt werden: Zum einen ist die Bebauung gerichtet, das Gebäude liegt parallel zu seiner Grundstücksgrenze, die an den Straßenraum angrenzt. Zum anderen steht ein Gebäude einer Reihe in direkter Beziehung zur Bebauung der benachbarten Grundstücke, es setzt sich in der angrenzenden Bebauung fort.

4.1.2. Blockbebauung

Der Block ist wie die Reihe eine geschlossene städtebauliche Bauform (Abb. 8). Im städtischen Bereich spricht man häufig auch von der Blockrandbebauung (Freigang 2010). Es ergibt sich ein klar definierter geschlossener, öffentlicher Stadtraum dem ein davon abgewandter, privater Raum im Inneren der Blockstruktur entgegensteht (Bürklin, Peterek et al. 2007).

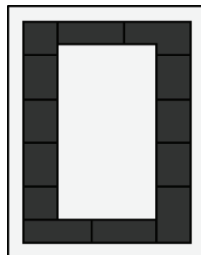


Abb. 8: Blockbebauung. Nach (Bürklin, Peterek et al. 2007, S.21).

Bei der Generierung dieses Bautyps müssen die folgenden Eigenschaften berücksichtigt werden. Die Bebauung erfolgt an allen straßenseitigen Grundstücksgrenzen eines zusam-

menhängenden Bauareals, das in der Regel durch das Straßennetz und städtische Baufluchten definiert wird (Bürklin, Peterek et al. 2007). Darüber hinaus steht ein Gebäude einer Blockrandbebauung in direkter Beziehung zur Bebauung der benachbarten Grundstücke des Areals.

4.1.3. Zeilenbebauung

Bei der Zeile handelt es sich ebenfalls um eine geschlossene Bauweise, bei der die Gebäude senkrecht, also mit der Kopfseite, zur Straßenseite des Grundstücks orientiert sind. Zeilen sind in der Regel geradlinig angelegt und können sich, ähnlich der Reihenbebauung, über mehrere Grundstücke erstrecken. Bei Zeilen handelt es sich um freistehende Elemente, die beispielsweise nach Gesichtspunkten der Belichtung und Belüftung ausgerichtet sind und über einen zusätzlichen Weg von der eigentlichen Erschließungsstraße her erschlossen werden müssen (Bürklin, Peterek et al. 2007). Zeilenbebauung ist wenig raumbildend, da sie sich vom Straßenraster und dem stadträumlichen Kontext bewusst löst.

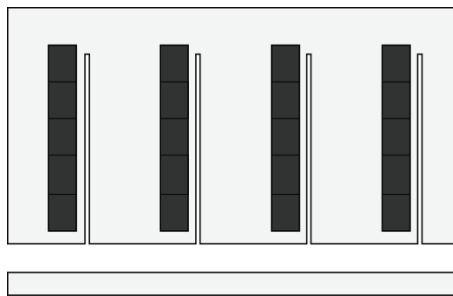


Abb. 9: Zeilenbebauung. Nach (Bürklin, Peterek et al. 2007, S. 42).

Bei der Generierung von Zeilen werden die Bebauungsflächen zur Vereinfachung senkrecht zur erschließenden Straße positioniert. In der realen Planung wird die Position der Zeile auf dem Grundstück unter Berücksichtigung verschiedener Kriterien, wie der Lage des Grundstücks, der Himmelsrichtung und der angrenzenden Bebauung bestimmt, um z.B. eine optimale Belichtung, Besonnung und Belüftung zu erreichen. Darüber hinaus muss eine zusätzliche Stichstraße zur eigentlichen Erschließung berücksichtigt werden, die im Rahmen unserer Umsetzung zunächst vernachlässigt wurde.

4.1.4. Solitäre

Solitäre sind Einzelhäuser oder Sonderbauten, die freistehen oder auch an eine oder mehrere Grundstücksgrenzen angrenzen können. Charakteristisch für diesen Bautyp ist, dass die Gebäude unabhängig von Gebäuden auf Nachbargrundstücken platziert und ihre Orientierung und Ausrichtung, falls keine stadtgestalterischen Einschränkungen vorliegen, frei gewählt werden können (Bürklin, Peterek et al. 2007). Solitäre können in dichtbebauten Ge-

bieten eingesetzt werden, um Akzente zu setzen. Im Allgemeinen führt die offene Bauweise des Solitärs jedoch zu wenig gefassten, fließenden Stadträumen.

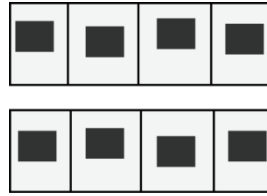


Abb. 10: Einzelhausbebauung.

Bei der Generierung von Solitärbebauungen sind folglich kaum allgemeingültige Einschränkungen zu beachten. In der realen Planung müssen funktionale Kriterien sowie eventuell stadträumliche Bezüge und Charakteristiken berücksichtigt werden, die in unseren Betrachtungen zunächst keine Rolle spielen. Möglich wäre, dass die Erschließung, die Orientierung und die Lage eines Gebäudes auf einem Grundstück durch die Ausrichtung eines Grundstücks beeinflusst werden.

4.2. Städtebauliche Parameter

Neben den Charakteristiken, die sich aus dem jeweiligen Bautyp ergeben und im vorangegangenen Kapitel beschrieben wurden, wurden im Hinblick auf die Generierung von Bebauungsstrukturen drei weitere Kriterien berücksichtigt, die aus dem stadtplanerischen Umfeld stammen. Es handelt sich hierbei um die Bebauungsdichte, die Gebäudetiefe sowie die Berücksichtigung von Baulinien.

4.2.1. Bebauungsdichte

In der Stadtplanung wird die Bebauungsdichte für Baugebiete als Grundflächenzahl (GRZ) angegeben. Die GRZ gibt das Verhältnis von bebauter Fläche zur Nettogesamtfläche eines Grundstücks bzw. Stadtteils wieder (Neufert, Brockhaus et al. 2009) und gibt folglich vor, wie groß die maximale Grundfläche eines Gebäudes auf dem Grundstück sein darf bzw. wie viele Quadratmeter eines Grundstücks bebaut werden dürfen (Abb. 11).

In unseren Untersuchungen dient die GRZ als Eingabeparameter, auf dessen Basis die bebauten Flächen im Baugebiet ausgewiesen werden. Ausgehend von der jeweiligen Grundstücksgröße wird die maximale Grundflächengröße des Gebäudes berechnet. In Abhängigkeit vom gewählten Bautyp wird die Lage und geometrische Form der Gebäudegrundfläche errechnet bzw. konstruiert. Da die Berechnung und Generierung der bebauten Fläche in vereinfachter Form erfolgt, kann in der prototypischen Umsetzung die tatsächliche GRZ

eines Grundstücks von der Vorgabe abweichen und um einige Prozentpunkte niedriger oder höher ausfallen.

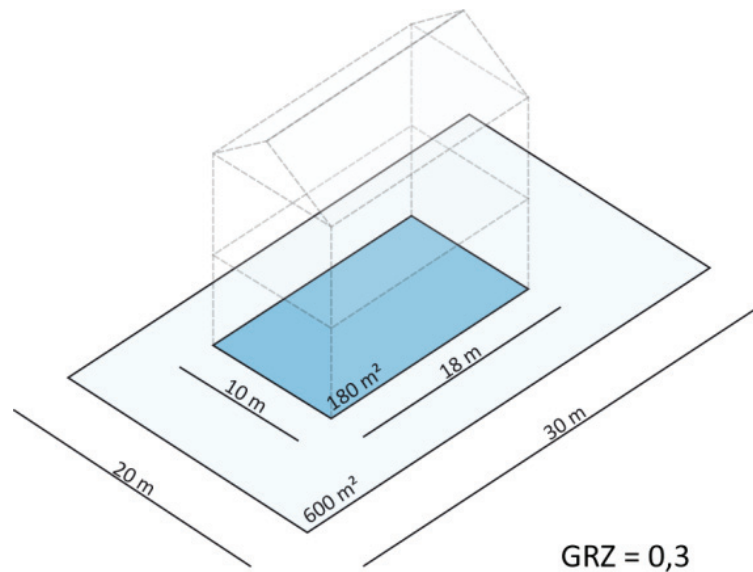


Abb. 11: Grundflächenzahl (Abb. aus: Architektur-Lexikon.de 2010).

4.2.2. Gebäudetiefe

Als Bautiefe eines Gebäudes wird seine Tiefe von Außenwand zu Außenwand bezogen auf seine Fassade bezeichnet. Die jeweils optimale Gebäudetiefe kann für verschiedene Nutzungsformen, wie Wohnen, Büro, Gewerbe, und für verschiedene Erschließungsformen sowie Bautypen unterschiedlich sein. Ein wichtiges Kriterium bei der Festlegung der Gebäudetiefe ist die Gewährleistung der optimalen Belichtung aller Einheiten bzw. Räume eines Gebäudes. Bei einer Reihenbebauung ist die direkte Belichtung beispielsweise nur über zwei Fassadenseiten möglich. Die maximale Bautiefe eines Reihenhauses ist folglich eingeschränkt, da mit zunehmender Tiefe eine größere unbelichtete Zone im Inneren des Gebäudes entsteht. Für Reihenbebauung ergibt sich unter Berücksichtigung der Belichtung beispielsweise eine wirtschaftliche Gebäudetiefe bis ca. 12m (Neufert, Brockhaus et al. 2009).

Da sich unsere Untersuchungen auf die städtebauliche Ebene beschränken und somit die innere Organisation, d.h. die Gestaltung der Grundrisse und der Erschließung, sowie die Nutzung nicht berücksichtigt werden, wird im Rahmen der prototypischen Umsetzung zunächst vereinfacht eine für alle Bautypen gültige Gebäudetiefe festgelegt. Die Bautiefe steht in Verbindung mit der Grundstücksgröße und dem gewählten Bautyp in einem direkten Zusammenhang bzw. gegebenenfalls Widerspruch zur Bebauungsdichte. Daher wird die Bebauungstiefe im Folgenden nicht als fester Wert angegeben, sondern als ein Intervall, in dem sie sich bewegen kann.

4.2.3. Baulinie und Baugrenze

Als zusätzliche städtebauliche Parameter können Baulinien (BL) und Baugrenzen (BG) betrachtet werden. Im städtebaulichen Kontext stellen BL und BG Richtlinien dar, welche Abstände das Gebäude von der straßenseitigen Grundstücksgrenze einzuhalten hat. Sie haben folglich einen wesentlichen Einfluss auf die Ausprägung des öffentlichen Raums. Die BG ist die im Bebauungsplan angegebene Linie bis zu der ein Grundstück bebaut werden darf (Grütze 2007). Sie darf nicht überschritten werden. Ist im Bebauungsplan eine BL angegeben, so muss diese mit mindestens einer Gebäudeseite bebaut werden. Sie definiert bebaubare und nicht bebaubare Bereiche des Grundstücks zum Straßenraum hin und dient häufig dazu, ein einheitliches Erscheinungsbild zu gewährleisten (Grütze 2007).

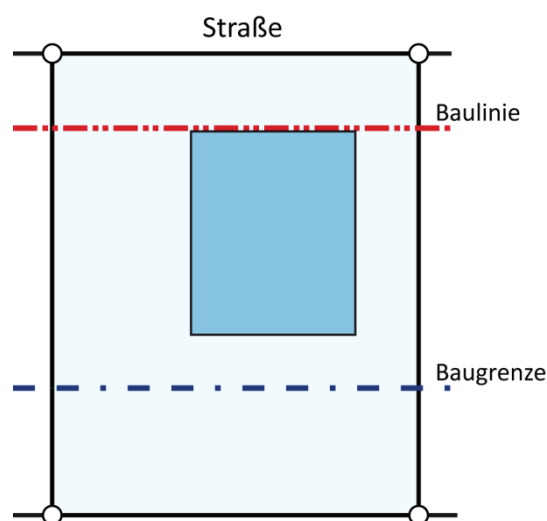


Abb. 12: Baulinie und Baugrenze. (Abb. nach Individual-Bau Wachsmuth (2012))

Durch die Definition von Baulinien und Baugrenzen in Form von festgelegten Abstandswerten in Bezug zur Straßenkante kann bei der Erstellung von städtebaulichen Strukturen die Form der Bebauungsstruktur beeinflusst werden. Der Abstand der Baulinie zur Straße muss geringer sein als der Abstand der Baugrenze zur Straße, wobei auch berücksichtigt werden sollte, dass eine sinnvolle Tiefe der Bebauung möglich ist. Der Abstand zwischen Baulinie und Baugrenze muss größer oder mindestens gleich der festgelegten Gebäudetiefe sein.

5. Umsetzung

Auf Basis der in den vorangegangenen Kapiteln beschriebenen Betrachtungen wurde ein Softwaremuster erstellt (Abb. 13). Es wurde auf bereits vorhandene, im Rahmen des CoM-StaR-Projekts entwickelte Algorithmen zur Erstellung urbaner Straßennetze zurückgegriffen, auf deren Basis die Grundstücksumlegung sowie die anschließende Generierung der Bebauungsstrukturen aufsetzten. Die Umsetzung des Prototyps erfolgte mit Csharp unter Ver-

wendung der Tektosyne⁴-Bibliothek für die Erstellung des Straßengraphen und der ClipperLib⁵ Bibliothek für das Grundstückclipping (vgl. Offset-Parameter in Abb. 3).

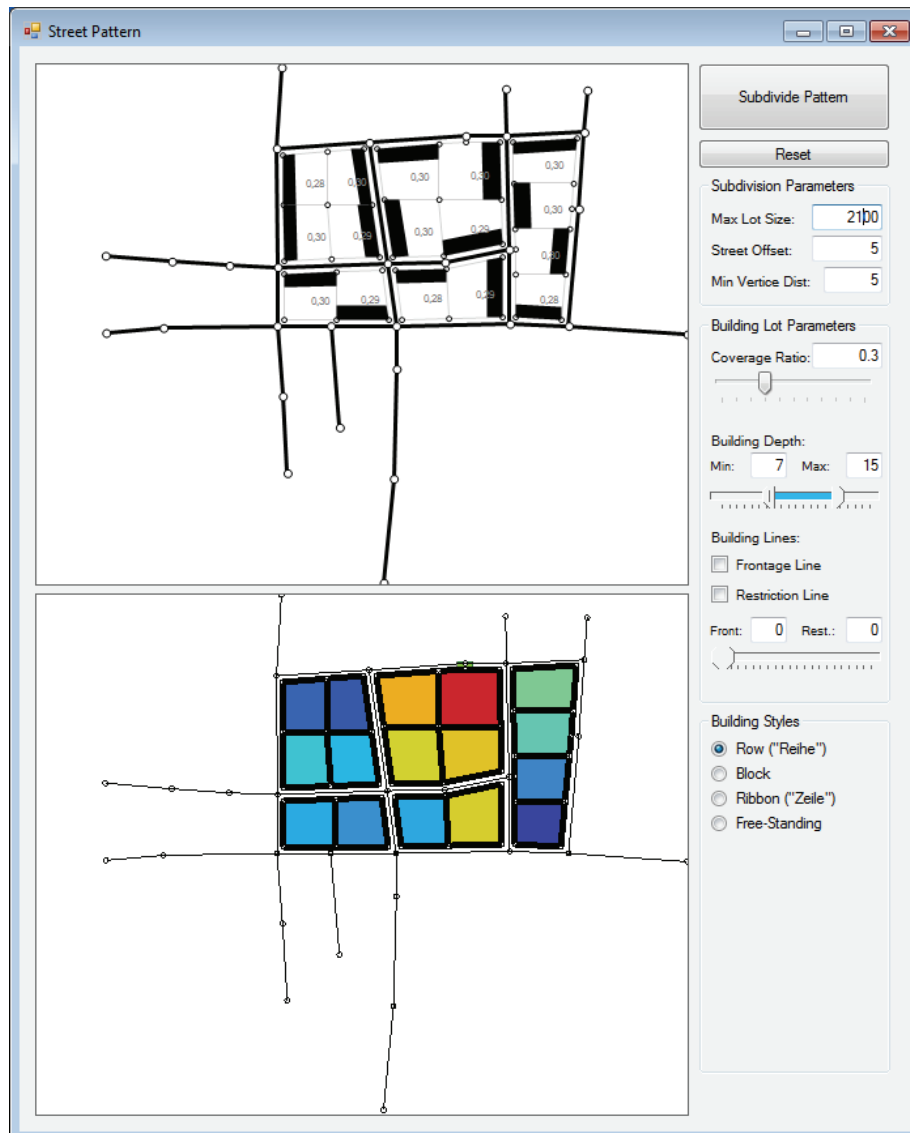


Abb. 13: Screenshot Softwaremuster.

Ziel der prototypischen Umsetzung war es, ein Softwaretool zu entwickeln, das Vorschläge für städtebauliche Planungen inklusive Bebauungsstrukturen generiert. Im Hinblick auf dieses Ziel ermittelt das in Abb. 13 dargestellte System zunächst die Bebauungsareale (Blöcke) innerhalb eines zufällig erstellten Straßennetzwerks und legt diese nach dem in Kapitel 3.1 beschriebenen Algorithmus unter Berücksichtigung der in Kapitel 3.2 dargestellten stadtplanerischen Constraints automatisch um. Durch Anpassung und Änderung der Parameter-

⁴ Die Tektosyne Bibliothek ist eine Utility Library, die die Typen und Methoden der .NET Klassen erweitert. Die Bibliothek wurde von Christoph Nahr programmiert und kann unter der MIT Lizenz kostenlos unter der folgenden URL heruntergeladen werden: <http://www.kynosarges.de/Tektosyne.html>

⁵ Die ClipperLib Bibliothek ist eine Bibliothek, die Methoden zum Polygon clipping und offsetting bereithält. Die Bibliothek wurde von Angus Johnson programmiert und als Freeware unter der Boost Software License unter der folgenden URL verfügbar: <http://angusj.com/delphi/clipper.php>

werte für maximale Grundstücksgröße (Abb. 14, Spalten), Straßenoffset (Abb. 14, Zeilen) und minimalen Knotenabstand (Abb. 14, rechte Spalte) lässt sich die Unterteilung der Bauareale steuern.

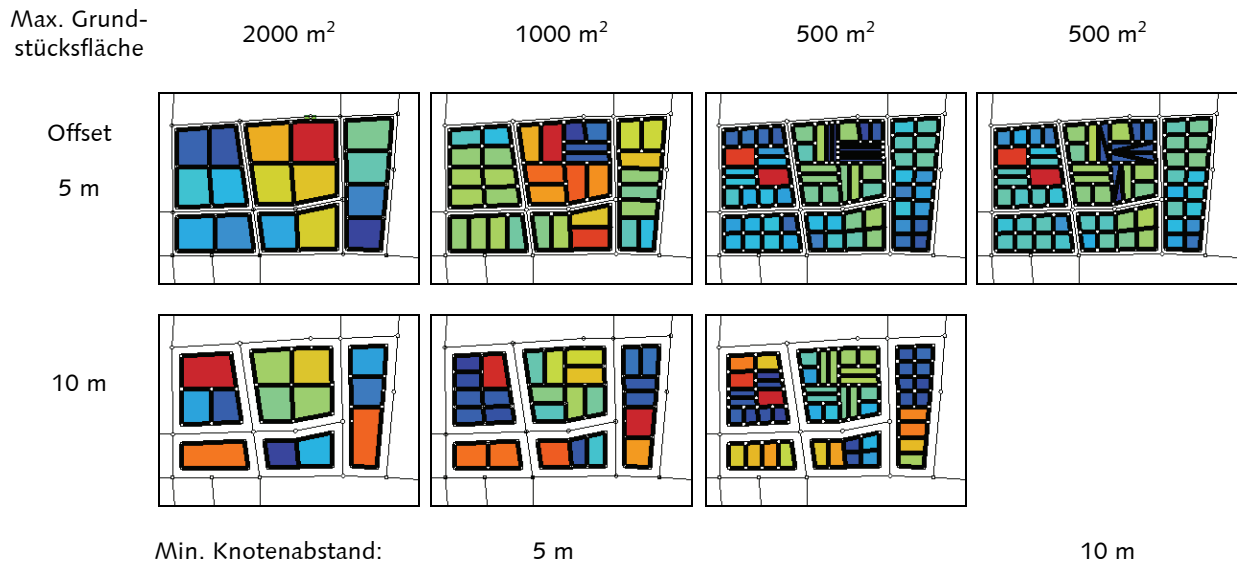


Abb. 14: Einfluss verschiedener Parameterwerte auf die Grundstücksumlegung.

Für die umgelegten Grundstücke werden anschließend Bebauungsflächen anhand der in Kapitel 4.1 beschriebenen Bebauungstypen und unter Berücksichtigung der in Kapitel 4.2 beschriebenen städtebaulichen Parameter erstellt. Die Wahl einer Reihen-, Block-, Zeilen- oder Einzelhausbebauung bestimmt die Grundgestalt der generierten städtischen Struktur (Abb. 15). Über die Anpassung der Bebauungsdichte sowie des Gebäudetiefenintervalls lässt sich steuern, in welchem Umfang die Grundstücke mittels des jeweiligen Bautyps bebaut werden und wie tief die erstellten Gebäude sind (Abb. 16). Durch die Angabe von Baulinien und Baugrenzen kann zusätzlich die Lage der Gebäude auf den Grundstücken kontrolliert werden (Abb. 17).

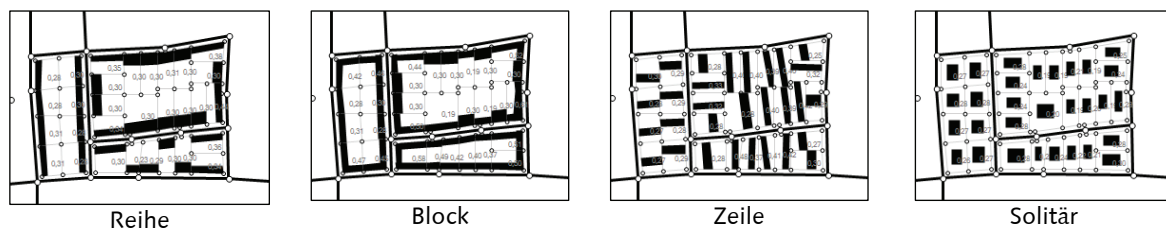


Abb. 15: Bebauungsstrukturen mit unterschiedlichen Bautypen: Reihenbebauung (links), Blockbebauung (Mitte, links), Zeilenbebauung (Mitte, rechts) und Einzelhausbebauung (links).

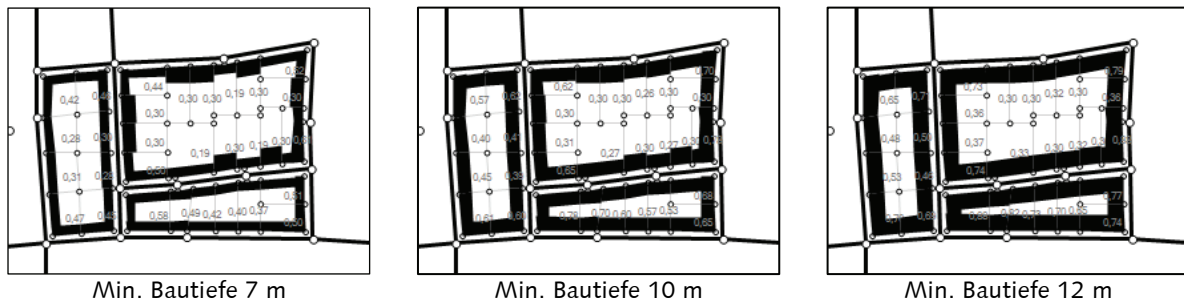


Abb. 16: Bebauung in Abhängigkeit verschiedener Mindestgebäudetiefen bei einer GRZ von 0,3



Abb. 17: Bebauung ohne Baulinien (links), mit vorgegebenen Baulinien (Mitte) und mit vorgegebenen Baulinien und Baugrenzen (rechts).

6. Schlussbetrachtung und Ausblick

Im Rahmen dieses Arbeitspapiers wurde vorgestellt, wie Bebauungsareale ausgehend von einem vorgegebenen Straßennetzwerk durch Unterteilungsalgorithmen automatisch umgelegt und wie auf Basis verschiedener städtebaulicher Typen Bebauungsstrukturen generiert werden können. Es wurden die Kriterien, Eigenschaften und Parameter dargestellt, die jeweils für die Unterteilung und Strukturgenerierung eine Rolle spielen, und wie diese in die Erstellung eines prototypischen Softwaretools einfließen. Zusammengenommen stellen die vorgestellten Untersuchungen und der in diesem Rahmen entwickelte Softwareprototyp einen ersten Schritt auf dem Weg zu einem Vorschlagssystem für nachhaltige städtebauliche Entwürfe dar.

Um das System zunächst möglichst einfach und übersichtlich zu gestalten, wurden an einigen Stellen Sachverhalte abstrahiert betrachtet. An diesen Stellen liegen erste Ansatzpunkte für eine Weiterentwicklung des Systems. In der aktuellen Version gelten die Einstellungen für Parameterwerte sowie die Auswahl des Bautyps global für alle Bauareale und Grundstücke. Durch die Kombination mehrerer, verschiedener Bautypen bei der Generierung der Stadtstruktur und die Möglichkeit Parameterwerte Bebauungsarealweise anzupassen könnte ein diverseres Stadtbild erzeugt werden. Denkbar ist in diesem Zusammenhang z.B. die Definition von verschiedenen Straßenräumen wie zwei- oder mehrspurig oder die grundstücksweise Anpassung von BL oder BG.

Ähnlich der Vorgehensweise von Vanegas, Aliaga et al. (2009) bei der Straßengenerierung für urbane Simulationen, könnten zusammen mit der Grundstücksumlegung zusätzliche Erschließungsstraßen erstellt werden. Diese würde vor allem bei dicht bebauten Arealen dafür sorgen, dass Grundstücke gleichmäßiger erschlossen werden können und folglich weniger ungünstige lange, schmale Grundstücke entstehen. Im Zuge der Erstellung von Erschließungsstraßen könnte darüber hinaus die Einführung von Straßenhierarchien angedacht werden, um Straßen mit unterschiedlichen Funktionen, z.B. Haupt- und Nebenstraßen mit ihren unterschiedlichen Platz- und Nutzungsbedürfnissen zu unterscheiden.

Neben einer Erweiterung und Detaillierung der ausgegebenen Stadtstrukturen ist eine Erweiterung und Detaillierung der Erstellungsmethoden und -algorithmen sinnvoll. Insbesondere eine Optimierung der Strukturen hinsichtlich miteinander in Widerspruch stehender Parameterwerte, wie Gebäudetiefe und Bebauungsdichte, durch eine Kombination der dargestellten Methoden mit multikriteriellen Optimierungsstrategien ist denkbar. So können zum einen eine Vielzahl stadtstruktureller Varianten generiert und zum anderen nach bestimmten Parametern optimiert werden. Im Rahmen des in den Abschnitten 1 und 2 eingeführten CoMStaR-Projekts besteht die Intention darin, Stadtstrukturen so zu generieren und zu optimieren, dass bestimmte soziale Effekte erzielt werden bzw. sich bestimmte Bevölkerungsgruppen mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit ansiedeln werden.

Zusätzlich kann das System zur Generierung der Bebauungsstrukturen um zusätzliche Parameter, z.B. einen zur Orientierung sowie einen zur Berücksichtigung des städtebaulichen Umfelds erweitert werden.

Unsere Betrachtungen waren außerdem auf zweidimensionale Strukturen begrenzt. Ein weiterer Entwicklungsschritt bestünde folglich in der Untersuchung dreidimensionaler Gebäude- und Stadtstrukturen. Damit einher ginge eine zusätzliche Erweiterung der zu berücksichtigenden Parameter und Constraints, um beispielsweise Grundflächenzahlen, Abstandsflächen und weitere städtebauliche Kennwerte.

Referenzen

- Anders, F. and R. König (2011). Analyse und Generierung von Straßennetzwerken mittels graphenbasierter Methoden. Arbeitspapiere Informatik in der Architektur (Working Papers). D. Donath, and Koenig R. Weimar, Bauhaus-Universität Weimar, Professur Informatik in der Architektur.
- Architektur-Lexikon.de. (2010). "Grundflächenzahl." Retrieved 25. Mai, 2012, from <http://www.architekturlexikon.de/cms/architekturlexikon-g/grundflaechezahl.html>.
- Bürklin, T., M. Peterek, et al. (2007). Basics Stadtbausteine, Birkhäuser Basel.
- Chen, G., G. Esch, et al. (2008). Interactive procedural street modeling. ACM SIGGRAPH 2008 papers. Los Angeles, California, ACM: 1-10.
- Freigang, C. (2010). Wörterbuch der Architektur: Mit 129 Abbildungen. Stuttgart, Reclam Philipp Jun.
- Grütze, D. (2007). Bau-Lexikon, Fachbuchverl. Leipzig im Carl-Hanser-Verlag.
- Individual-Bau Wachsmuth (2012). "Die Auswahl und der Kauf des Baugrundstücks." Retrieved 16. Juli, 2012, from http://www.ibw-web.de/body_grundstuck.html.
- Knecht, K. and R. Koenig (2011). Evolutionäre Generierung von Grundriss-Layouts mithilfe von Unterteilungsalgorithmen. Arbeitspapiere Informatik in der Architektur (Working Papers). D. Donath, Koenig, R. Weimar, Bauhaus-Universität Weimar, Professur Informatik in der Architektur.
- Neufert, E., M. Brockhaus, et al. (2009). Bauentwurfslehre: Grundlagen, Normen, Vorschriften über Anlage, Bau, Gestaltung, Raumbedarf, Raumbeziehungen, Maße für Gebäude, Räume, Einrichtungen, Geräte mit dem Menschen als Maß und Ziel. Handbuch für den Baufachmann, Bauherrn, Lehrenden und Lernenden, Vieweg+teubner Verlag.
- Parish, Y. I. H., P. Mueller, et al. (2001). Procedural modeling of cities. Proceedings of the 28th annual conference on Computer graphics and interactive techniques, ACM: 301-308.
- Steinhöfel, J., F. Anders, et al. (2010). Computer-Based Methods for a Socially Sustainable Urban and Regional Planning - CoMStaR. Computational Science and Its Applications - ICCSA 2010, Fukuoka, Japan, Berlin Heidelberg New York, Springer.
- Vanegas, C. A., D. G. Aliaga, et al. (2009). "Visualization of Simulated Urban Spaces: Inferring Parameterized Generation of Streets, Parcels, and Aerial Imagery." IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics **15**(3): 424-435.
- Waddell, P., A. Borning, et al. (2003). "Urbansim: A Simulation System for Land Use and Transportation." Networks and Spatial Economics **2**(no. 1): 43-67.
- Weber, B., P. Mueller, et al. (2009). Interactive Geometric Simulation of 4D Cities. Computer Graphics Forum (Eurographics). **28**(2): 481--492.